

GPS-tracker s podporou LoRaWAN

GPS-tracker Node in LoRaWAN Network

Matěj Berger

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Marek Dvorský, Ph.D.

Ostrava, Rok 2021

Abstrakt

Zadáním bakalářské práce je sestavit GPS Tracker fungující v síti LoRaWAN. Zařízení využívající IoT se rozšiřují, a také tato práce se zabývá zařízením z této oblasti. Provedu rešerši komerčních zařízení a vyberu nejzajímavější z nich. Rozeberu problematiku LoRaWAN, a také GPS. Vybrat správné komponenty pro zařízení a navrhnout krabičku, ve které tyto komponenty budou uloženy. Zařízení bude kompaktní a vhodné pro používání v terénu. Zařízení se poté může využívat i v průmyslu, kde může sloužit jako sledovací zařízení pro automobily apod. Funkčnost zařízení ověřím otestováním zařízení při běžném pohybu ve městě Ostrava.

Klíčová slova

Anténa; GPS; komponent; LoRaWAN; micro USB; modul; technologie; Tracker; TTN; TTN Mapper;

Abstract

The assignment of the bachelor's thesis is to assemble GPS Tracker operating in the LoRaWAN network. Devices using IoT are expanding, and this work also deals with devices in this area. I will search commercial devices and select the most interesting ones. I will analyze the problematics of LoRaWAN, as well as GPS. Select the right components for the device and design the box in which these components will be stored. The device will be compact and suitable for use in the field. The device can then be used in industry, where it can serve as a monitoring device for cars, etc. I will verify the functionality of the device by testing the device during normal movement in the city of Ostrava.

Key words

antenna; component; GPS; LoRaWAN; micro USB; module; technology; Tracker; TTN; TTN Mapper;

Obsah

Úvod	- 7 -
1 Rešerše komerčních GPS trackeru.....	- 8 -
1.1 LW-360HR.....	- 10 -
1.2 LoRa N´TRACK.....	- 10 -
1.3 Micro Tracker	- 11 -
1.4 RAK 7200	- 12 -
1.5 RAK 811	- 12 -
2 Návrh vlastního řešení zařízení	- 14 -
2.1 Použité technologie	- 14 -
2.1.1 LoRaWAN.....	- 14 -
2.1.2 Global Positioning Systém	- 15 -
2.2 Použité komponenty	- 15 -
2.2.1 Adafruit Feather 32u4 RFM95.....	- 16 -
2.2.2 GPS modul NEO-6M.....	- 16 -
2.2.3 Napájení.....	- 17 -
3 Sestavení GPS trackeru.....	- 18 -
3.1 Návrh propojení komponent.....	- 18 -
3.1.1 Připojení baterie	- 19 -
3.1.2 Připojení GPS modulu.....	- 20 -
3.1.3 Zdrojový kód	- 20 -
3.2 Registrace a nastavení TTN	- 23 -
3.2.1 The Things Network Console	- 23 -
3.2.2 TTN Mapper.....	- 24 -
3.3 3D tisk krabičky.....	- 26 -
3.3.1 Návrh 3D krabičky.....	- 26 -
3.3.2 Úprava krabičky	- 26 -
4 Používání zařízení	- 28 -
4.1 Testování	- 28 -
4.2 Výsledek testování.....	- 28 -
4.3 Shrnutí dosažených výsledků	- 29 -
Závěr.....	- 30 -

Použitá literatura.....	- 31 -
Seznam příloh.....	33

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
3D	Trojrozměrný prostor
μA	Microampéry
ABP	Activation By Personalisation
Ant	Anténa
A-GPS	Assisted GPS
BAT	Baterie
BLE	Bluetooth Low Energy
GGA	Global Positioning System Fix Data
GLONASS	Globální družicový Navigační Systém
GND	Ground
GPS	Global Positioning Systém
GPX	GPS eXchangeFormat
IoT	Internet of Things
KML	Keyhole Markup Language
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network
mA	Miliampéry
mAh	Miliampérhodina
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MHz	Megahertz
NFC	Near Field Communication
NMEA	National Marine Electronics Association
OTAA	OverThe Air Activation
QZSS	Quasi-Zenith Satellite Systém
RMC	Recommended Minimum Navigation Information
RX	Receiver
TTN	The Things Network
TTN Mapper	The Things Network Mapper
TX	Transmitter
Wifi	Wireless Ethernet Compatibility Alliance

Úvod

Dnes, kdy se více technologií a zařízení snaží využívat co nejméně drátových spojů se přechází na bezdrátové technologie. To je i případ této bakalářské práce, kdy pomocí takovýchto zařízení a technologií, budeme navrhovat zařízení, které slouží k mapování pohybu osob, pomocí technologie LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) s využitím zařízení GPS (Global Positioning System) tracker.

GPS Tracker je zařízení, které se využívá k zjišťování polohy osob nebo vozidel a tyto data odesílá k dalšímu zpracování. Těchto zařízení je na trhu nespočet. Z tohoto důvodu vytvoříme rešerši těchto zařízení a porovnáme je v první kapitole.

V druhé kapitole stručně popíšeme a srovnáme komponenty, které byly vybrány a použité pro toto měření.

Je důležité, aby se toto zařízení dalo používat běžně a nebyl problém jeho použití v terénu. Z tohoto důvodu je nutno věnovat prostor i pro návrh napájecích obvodů a zapouzďení zařízení do krabičky s odpovídajícím krytím. Krabička bude navržena, aby se bezproblémově dala baterie dobíjet a připojit antény k GPS (Global Positioning System) a síti LoRaWAN. Data, která bude zařízení odesílat je potřeba nějak zobrazit. K čemuž využijeme aplikaci TTN Mapper (The Things Network Mapper), která nám zobrazí pokrytí sítě.

Ve třetí kapitole je popsána kompletace a zprovoznění všech komponent tak, aby byly schopny odesílat data z GPS.

V závěrečné kapitole je popsáno závěrečné testování v reálných podmínkách. Pomocí těchto výsledků budeme moci, pak výslednou práci zhodnotit.

1 Rešerše komerčních GPS trackeru

V dnešní době se dá opravdu říct, že GPS tracker je už skoro v každém novém zařízení, ať už je to telefon nebo automobil. Takže je toto zařízení dennodenně používáno. Používají ho jak soukromníci, tak i velké společnosti pro kontrolu majetku či dětí a zaměstnanců. To vytváří velkou poptávku po zařízení toho to druhu. Proto výrobci prodávají spoustu typu GPS trackeru. Aby se tyto zařízení dobře prodávali musí, jak držet krok s novými technologiemi, tak musí splňovat potřeby zákazníku. Zákazník vždy bude hledět na cenu, ale také na výdrž baterie, vzhled neboli i velikost nebo použité technologie.

Jak jsem již zmínil v úvodu GPS Tracker slouží k zjišťování polohy osob nebo vozidel. Výsledná data jsou souřadnice, které Tracker odesílá k zpracování.

V této části práce jsem se tedy z tohoto důvodu zaměřil na výběr různých komerčních zařízení, které se objevují na trhu. Díky tomuto průzkumu trhu si také můžeme ukázat rozmanitost zařízení. V tabulce níže je výpis mnou nalezených zařízení a jejich stručný popis ke dni 19.11.2020. Rozšířený popis jsem provedl u pěti zařízení, které jsem vybral a prodiskutoval s vedoucím práce. Vybíral jsem podle jejich konstrukce a jejich zajímavých vlastnostech.



Obrázek 1.1: Příklad GPS-trackeru [1]

Rešerše komerčních GPS trackeru

Tabulka 1.1: Rešerše komerčních zařízení

Název	Orientační cena (Tis. Kč)	Senzory	Technologie	Velikost	Baterie (výdrž)
Micro Tracker[4]	4	Akcelerometr, Teploty, SOS	BT, Wifi-sniffer	58 x 34 x 12 mm	450 mAh (1 rok)
LT-100E LoRaWAN GPS Tracker[1]	3	Akcelerometr, vibrační tlačítko, Geologace, SOS	-	69,5 x 45,5 x 19,6 mm	820 mAh
LoRaWAN GPS Tracker[18]	-	Akcelerometr	Glionass	95 x 75 x 40 mm	6400 mAh (5 let)
Oyster LoRaWAN[19]	2	Akcelerometr	Glionass	108 x 86 x 31 mm	3 x AA baterie (5 let)
Yabby LoraWAN[20]	2	Akcelerometr	Glionass	85 x 63 x 24 mm	3 x AAA baterie (3 roky)
LoRa N'Track[3]	-	GPS, MAG, MOV, NFC	-	119 x 30,5 x 51 mm	3.6 V (10 let)
Dnx GPS Tracker QliqLoRa Kr917[21]	2	SOS	Mobilní aplikace	1,16 cm x 4 cm	3,7 V 110 mAh
915MHz LORA GPS[22]	3	-	Mobilní aplikace	85 x 63 x 28 mm	750 mAh (30 dní), AAA baterie (půl roku)
LT-601 Rseries[23]	-	3 axis accelerometer, indoor lokalizace (BLE)	-	84 x 69,6 x 52,8 mm	19 A (3 měsíce)
LW-360 HR[2]	4	Help tlačítko, krokoměr, NFC, funkce hodinek	BLE, KML, GPX, Srdeční tep	-	250 mAh (4 dny)
RAK7200 LoRa Tracker[5]	1	Digital motion sensor, 9-Axis Sensor	Barometr	50 x 74 x 24,5 mm	3.7 V
RAK4200[23]	1	-	LPWAN modul	15 x 15.5 x 2.5 mm	2.0 ~ 3.6 V
RAK811 LoRa[6]	1	3D acceleration chip	MEMS	54 x 22 x 17 mm	2200 mAh (2 roky)

1.1 LW-360HR

LW-360HR je první zařízení na, které se blíže podíváme. Vzhledově vypadají jako klasické hodinky, které skoro každý člověk nosí dennodenně na ruce. Ve svých útrobách však skrývá více technologie, než mají klasické hodinky.

Jak již zaznělo v základu toto zařízení, má vlastnosti normálních hodinek nosí se stejně a stejně také vypadají. Navíc ovšem v sobě mají GPS tracker v síti LoRaWAN, krokoměr, SOS tlačítko a NFC (Near Field Communication) čip. Dále používají technologii BLE (Bluetooth Low Energy), KML (Keyhole Markup Language), GPX (GPS eXchange Format) a monitor srdečního tepu.

Přenášení informací v síti LoRaWAN funguje na vzdálenost až 3 kilometrů v otevřené krajině a do 1 kilometru v městských zástavbách. Funkce BLE funguje na vzdálenost až 10 metrů. Hodnoty krokoměru a monitoru tepu se zapisují do aplikace, kterou si můžeme stáhnout do mobilního telefonu. Pomocí technologií KML a GPX je zařízení schopné ukládat i přesné souřadnice pohybu.

Hodinky jsou napájené nabíjitelnou baterií s kapacitou 250 mAh a vydrží se pohybuje okolo 4 dnů. Cena takových to hodinek se na internetu pohybuje okolo čtyř a půl tisíce korun[2].



Obrázek 1.2: LW-360HR [2]

1.2 LoRa N'TRACK

Další zařízení LoRa N'TRACK je více určené k použití v průmyslové odvětví. Dá se použít například, tak že se přidělá k autu a sleduje se jeho pohyb v areálu firmy. Zařízení nemá nijak obrovské rozměry činí 119 x 30,5 x 51 mm a plní specifikaci IP68 což z něj dělá zařízení, které se dá použít také ve venkovních prostorách

Hlavní funkce je samozřejmě GPS, ale také zde máme spoustu jiných technologií pro zjišťování polohy. První z nich je technologie GLONASS (Globální družicový Navigační Systém). Tato technologie funguje na principu 24 satelitů díky, kterým máme neomezený přístup k poloze jak na souši, tak i na moři. Další technologií pro zjišťování polohy je BeiDou, který je ve své 3. generaci již přístupný po celé zemi a využívá 35 družic. Třetí technologií je QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), která je vyvíjena primárně v Japonsku. Jedná se o osekávanou verzi GPS pro Asijské země. Od roku 2018 využívá 4 satelity a od 2023 se očekává spuštění dalších 3 satelitů. Poslední technologií je A-GPS (Assisted GPS). Používá se primárně v mobilních telefonech z důvodu rychlejšího získání polohy zařízení. Zařízení má v sobě integrovaný i NFC čip.

Díky těmto zařízení je možnost použití opravdu velké. Aby zařízení dlouho vydrželo je zde 3,6 V lithiová baterie, která dokáže udržet zařízení funkční až 10 let. Pokud bude zařízení odesílat data pouze jednou denně[3].



Obrázek 1.3: *LoRa N'TRACK* [3]

1.3 Micro Tracker

Třetí zařízení Micro Tracker je jako předchozí zařízení, určené více k použití v průmyslovém odvětví. Lze použít jak pro sledování vozidel v halách i ve venkovním prostředí díky voděodolnému tělu, ale také lze použít i pro sledování pohybu osob. Při jeho rozměrech 58 x 34 x 12 mm není zařízení nikterak velké a při hmotnosti 20 g ani nikterak těžké. Takže lze ho schovat třeba i do větší kapsy nebo tašky či batohu.

Micro Tracker používá GPS technologii a low power GPS pro sledování polohy. Díky integrované technologii LoRaWan lze zařízení v této síti používat a odesílat data o poloze. Další technologii v tomto zařízení je Wifi-sniffer. Slouží k zjišťování Wifi sítí v daném okolí zařízení a je schopno tyto sítě a data o nich ukládat do databáze. Tuto funkci lze i použít k odposlouchávání komunikace ve Wifi síti. Také lze pomocí této funkce přenést i data. Poslední technologii je BLE pomocí, které se může zařízení připojit k jinému zařízení a vzájemně spolupracovat a předávat si informace.

Dále v těle zařízení je integrovaný bzučák, tlačítko SOS, senzor teploty i akcelerometr a 3 LED diody. Je zde integrovaná znovu nabíjitelná baterie o velikosti 450 mAh, která je schopna zařízení udržet funkční až 1 rok. Zařízení lze dobít pomocí micro USB konektoru. Micro Tracker lze zakoupit v českých obchodech v ceně okolo čtyř tisíc korun[4].



Obrázek 1.4: *Micro Tracker* [4]

1.4 RAK 7200

Čtvrté zařízení je jako většina těchto zařízení uschovaná v celku kompaktní a úhledné krabičce. Krabička má rozměry 50 x 74 x 24,5 mm a hmotnost 100 g. Jak již bylo řečeno krabička není velká ale za to trochu těžší než zbývající zařízení. Použití tohoto trackeru je obdobné jako u předešlého zařízení. Lze ho použít jak pro sledování vozidel, tak i osob.

Zařízení v sobě skrývá GPS pro sledování polohy zařízení. Dále zde máme digitální pohybový senzor a 9 osy snímač okolí. Z dalších funkcí stojí za pozornost podpora sleep modu. Kdy zařízení odebírá minimum energie z baterie. Také v tomto zařízení integrovaný barometr. Na obalu jsou umístěny tři LED diody. První značí nabíjení zařízení, druhá stav nabití a třetí jestli, zařízení odesílá potřebná data. Najdeme zde i tlačítko určené k resetování zařízení a micro USB konektor určený pro nabíjení zařízení.

Když je řeč o nabíjení, v zařízení je použita 3,7 V lithiová baterie, bohužel nikde jsem nedokázal dohledat výdrž zařízení na plně nabitou baterii. Na to, co toto zařízení umí, tak mě udivila jeho cena, která není nikterak vysoká a pohybuje se okolo jednoho tisíce korun[5].



Obrázek 1.5: RAK 7200 [5]

1.5 RAK 811

Poslední zařízení na, které se blíže podíváme je poměrně jednoduché zařízení RAK 811. Jak jde vidět na obrázku níže není zatím uložené v žádné krabičce. Takže se dosti podobá mému případu, kde i já budu muset vymyslet, jak součástky uschovat. Jelikož se jedná pouze o jeden plošný spoj o rozměrech 54 x 22 x 17 mm, tak i s krabičkou bude toto zařízení tvořit kompaktní celek. Jeho zaměření i přes to, že doposud není v krabičce je více outdoorového typu.

Na základové desce se kromě LoRaWAN modulu ukrývá také GPS modul a MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) modul. Tento modul integruje spoustu mechanických elementů, senzorů na jeden křemíkový substrát pomocí různých výrobních technologií. Je zde integrován i 3D akcelerační čip.

Při koupi budeme muset dokoupit i baterii, pokud budeme chtít fungovat i bezdrátově. Pokud bychom použili baterii o kapacitě 2200 mAh tak zařízení dokáže být provozu schopné více než 2 roky. Použité baterie mohou být i znovu nabíjitelné díky integrovanému micro USB portu. RAK 811 se dá na trhu zakoupit v ceně okolo jednoho tisíce korun[6].



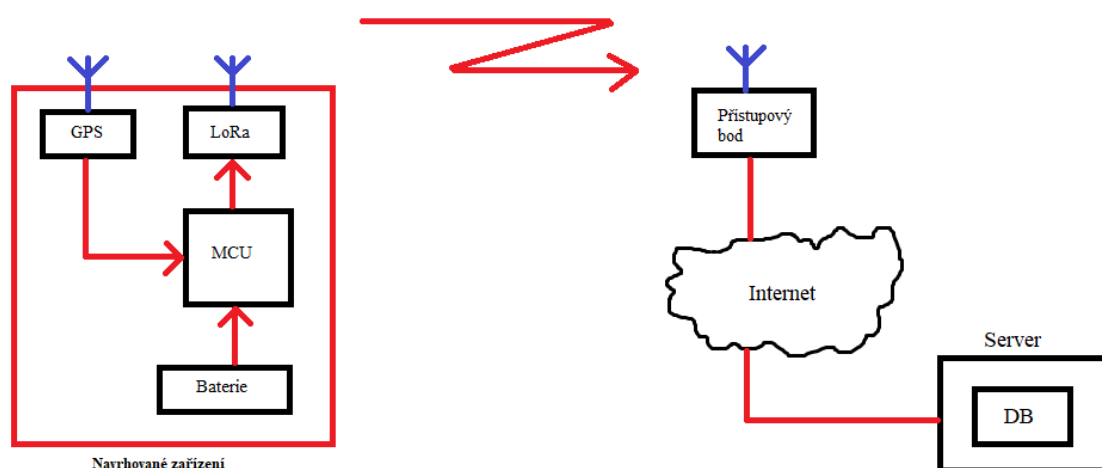
Obrázek 1.6: RAK 811 [6]

2 Návrh vlastního řešení zařízení

Naše zařízení bude sloužit k monitorování pohybu. U výběru tedy musíme dobře zvážit velikost zařízení. Pokud bude zařízení moc velké, pro naši práci se nám nebude dobře používat, ale také nesmí být moc malé, aby bylo možné vše bezpečně uložit a propojit. Důležitá je také rozhodně cena. Je zbytečné kupovat drahé komponenty, pokud nám vystačí o něco levnější a méně vybavené.

V mém případě jsem hledal různé moduly s různou velikostí, cenou a jinými zajímavými vlastnostmi. Všechny jsem pečlivě prokonzultoval s vedoucím práce a vybrali jsme ty komponenty, které byly vhodné pro mou práci. V této části si tedy představíme technologie a komponenty, které použijí při výrobě mého GPS Trackeru.

Výsledné moduly budou uloženy do krabičky potřebných rozměrů. V krabičce bude uložena krom modulu také baterie. Z krabičky budou pouze vystupovat dva výstupy k anténám GPS a LoRaWAN, plus zde bude odkryt microUSB výstup určený pro nabíjení a konfiguraci. Po zkompletování bude zařízení plně fungovat jako GPS Tracker.



Obrázek 2.1: Blokové schéma zapojení

2.1 Použité technologie

V této části si blíže představíme technologie, které budeme používat v našem zařízení.

2.1.1 LoRaWAN

První technologií je LoRaWAN. Patří mezi technologie LPWAN (Low-Power Wide-Area Network). Hlavní využití této technologie, je v oblasti IoT (Internet of Things), kde slouží jako technologie určená pro komunikace mezi zařízeními. Takové zařízení dnes můžeme vidět kdekoli v domácnostech nebo v průmyslu.

Pro komunikaci využívá druhou a třetí vrstvu ISO/OSI. V typické topologii je využito zapojení do hvězdy, kde koncové zařízení komunikuje s bránou neboli s přístupovým bodem. Ta přeposílá informace do centrálního network serveru. Přístupový bod komunikuje s network serverem pomocí standardního IP protokolu. Oproti koncovému zařízení, které komunikuje pomocí bezdrátové single-hop komunikace s jedním nebo více přístupovými body.

LoRaWAN je vhodná pro zařízení, které musejí vydržet dlouho v provozu díky mále energetické náročnosti této technologie. Bohužel mála spotřeba energie si vyžádala daň v přenosu dat, která se pohybuje v řádech desítek kb/s. Naopak, ale zvládá přenášet tyto data na poměrně velkou vzdálenost. Byly zaznamenány příklady přenosu přesahující stovky kilometrů. Další nesporná výhoda je využití bezlicenčních pásem pro technologii LoRaWAN. Frekvence pásem se v různých oblastech liší v Evropě je to 169 MHz, 433 MHz a 868 MHz. V USA jsou použita pásma 915 MHz, v Austrálii 915-928 MHz a v Asii je použito 923 MHz[7][8][9].

2.1.2 Global Positioning Systém

Druhá použitá technologie v tomto zařízení je GPS. GPS se začal vyvíjet v roce 1973 v USA a navazuje na předchozí technologii GNSS. Tuto technologii rozšiřuje dostupností, přesností a především kvalitou. Původně měla GPS sloužit pro armádu USA, ale kvůli finančním problémům bylo rozhodnuto, že GPS budou moci používat i civilisté. To bylo na plno umožněno 1. května 2000, kdy se na sto procent umožnilo využití i v civilním sektoru. A dnes už se dá nalézt skoro v každém mobilním zařízení. GPS technologii se dá rozdělit do tří segmentů:

Kosmický: Pro zjišťování polohy se původně mělo použít 18, ale počet byl postupně navýšen na 32 družic. Tyto družice obíhají kolem země ve výšce asi 20 000 km. K určení polohy je, ale potřeba použití 4 družic.

Řídící: Tento segment monitoruje kosmický segment. Pomocí řídicího segmentu se používá pro zasílání povelů družicím a údržbu atomových hodin. Segment se dále skládá z několika částí. Hlavní část je velitelství dále řídicí středisko, povelové stanice a monitorování stanic.

Uživatelský: Běžní uživatelé pomocí GPS přijímače přijímají signál z družic. Využijí se ty družice, které jsou v danou dobu nad obzorem. Pomocí těchto dat dokáže přijímač vypočítat polohu, nadmořskou výšku, přesný čas a datum.

Ke komunikaci mezi přijímačem a vysílačem GPS se používá formát zpráv NMEA-0183 (National Marine Electronics Association). V tomto formátu jsou informace posílány po řádcích. Každý řádek začíná znakem \$ následují dvě písmena, která určují typ zařízení např. GP = GPS. Dále jsou zde tři písmena určující, která určují formát zprávy např. RMC (Recommended Minimum Navigation Information) nebo GGA (Global Positioning System Fix Data) Následují údaje o poloze a řádek je ukončen hvězdičkou a kontrolním součtem všech znaků mezi \$ a *. Výsledný formát může vypadat takto:

```
$GPRMC,181038.0,A,5006.3171,N,01425.6622,E,0.00,42.00,150606,,*37
```

V dnešní době už existují takové čipy, které dokážou určit polohu s přesností na 30 cm. Bohužel tyto technologie jsou pro běžného uživatele stále velmi drahé a nedostupné. Je jenom otázka času, kdy budou existovat zařízení, která budou schopná zaměřit svoje polohy s přesností na několik milimetrů[10][11].

2.2 Použité komponenty

Zde si blíže představíme použité komponenty a zdůvodním jejich použití. Výběr každé komponenty jsem pečlivě prodiskutoval s vedoucím práce.

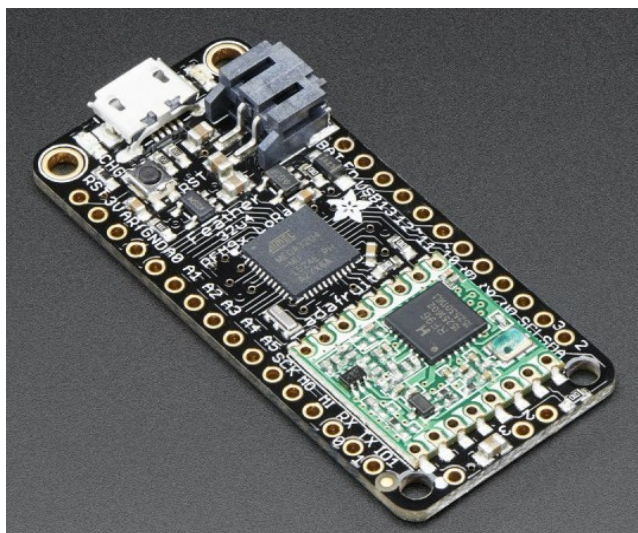
2.2.1 Adafruit Feather 32u4 RFM95

První komponenta, kterou použijeme je mikrokontroler od firmy Adafruit třídy Feather. Jak už vyplývá z názvu Feather neboli pírko bude zařízení tedy lehké a malé. Což splňuje se svými rozměry 51 x 23 x 8 mm a váhou okolo 5 gramů.

Použití procesor tvoří ATmega32u4 taktována na 8 MHz a výkon 3,3 V. Procesoru sekunduje 32K paměti RAM a také 2K flash paměti. V těle je také zabudovaný microUSB port sloužící pro nabíjení, programování a restartování zařízení. Je zde i přítomen konektor k připojení 3,7 V baterie, které můžeme kontrolovat stav přes analogový port. Dále se zde nachází 10 analogových vstupů, 7 PWM pinů, seriál a I2C. Nachází se zde čtyři montážní otvory, resetovací tlačítko a tlačítko k vypnutí.

Nespornou výhodou je integrovaná technologie LoRaWAN přímo na desce. Přenos probíhá na frekvencích 868 MHz nebo 915 MHz. Díky použití technologie LoRaWAN je deska i velice energeticky nenáročná. Při spánkovém režimu je schopná spotřebovat pouze 300 μ A a 120 mA při maximálním zatížení.

Tuto komponentu jsem upřednostnil před ostatními z několika důvodů. Hlavním bude malá energetická náročnost a dostatečný výkon. Dalším důvodem byly rozměry a váha desky, jelikož zařízení bude fungovat v krabici nesmí být rozměry moc velké. Posledním bodem je cena ta v tomto případě je adekvátní k schopnostem zařízení[12].



Obrázek 2.2: Adafruit Feather 32u4 [12]

2.2.2 GPS modul NEO-6M

Pro GPS modul jsem zvolil NEO-6M. V celku kompaktní modul s rozměry 25x35 mm je vhodný pro umístění do krabíčky. Napájet ho můžeme buď 3,3 V nebo 5 V. V těle má vestavěnou EEPROM pro uložení konfigurace. Modul komunikuje pomocí sériového portu přenosovou rychlostí 9600 bps. Při koupi je v balení také malá keramická anténa, kterou ale pro naše účely nepoužijeme.

Tento modul jsem vybral na základě ceny. Cena je adekvátní k velikosti a funkčnosti komponentu a zároveň je nižší než u konkurence. Další důvod byla dostupnost. Tento komponent byl k dostání blízko mého bydliště a nebylo potřebné ho objednávat a tím i zbytečně navyšovat jeho cenu[13].



Obrázek 2.3: GPS NEO-6M [13]

2.2.3 Napájení

Pro potřeby funkčnosti zařízení je primárně pro napájení určená baterie. V mém případě lithium-polymerová 3,7 V baterie o kapacitě 1200 mAh, která zaručí funkčnost zařízení po dobu 15 hodin, což mé potřebě plně dostačuje. Baterie nemá velké rozměry, proto se hodí k použití v krabici. K nabíjení baterii slouží microUSB, který bude volně přístupný. Díky tomuto konektoru bude možné dobíjet baterii například z počítače nebo powerbankou, takže nejsme vázaní nabíjením pouze přes počítač nebo zásuvku. Díky powerbance můžeme nabíjet zařízení i přímo v terénu[14].



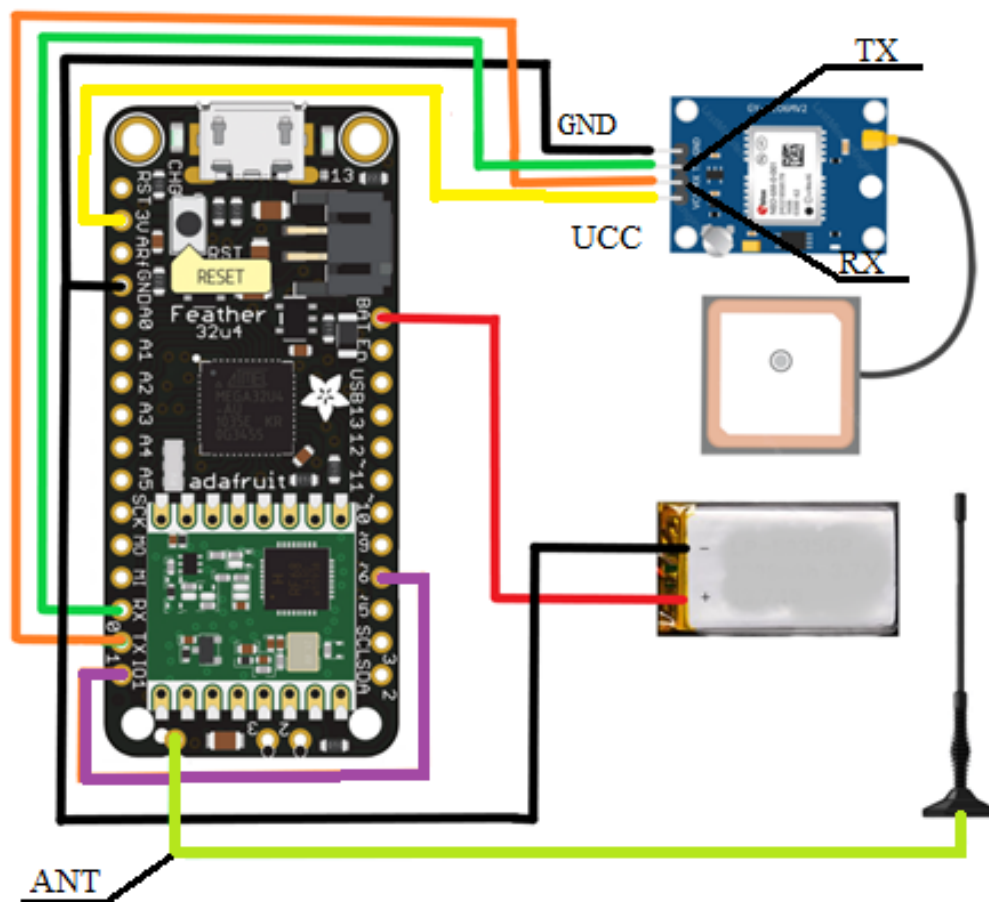
Obrázek 3.4: Baterie [14]

3 Sestavení GPS trackeru

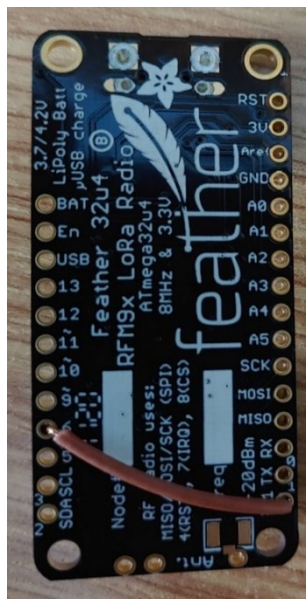
Tato kapitola popisuje návrh a sestavení mého zařízení GPS tracker. Postupně bude popsán postup při sestavení zařízení. GPS tracker bude pracovat v síti LoRaWAN a také by měl být lehce přenositelný například v batohu či v tašce. Tady vzniká potřeba připojení baterie a následné vložení všech komponent do vhodné krabičky s výstupy na nabíjení a připojení antén k GPS a LoRaWAN. K tomuto propojení jsem použil mnou již vybrané komponenty z kapitoly 3.2. Hlavním komponentem je AdaFruit Feather 32u4, ke kterému budu připojovat další komponenty GPS modul NEO-6M s anténou. Dále připojím vysílací anténu pro LoRaWAN technologii. V neposlední řadě připojím baterii určenou k napájení. [12][13][14]

3.1 Návrh propojení komponent

V této části si zobrazíme návrh propojení komponent. Postupně budu popisovat postup při pájení a zprovoznění zařízení. Na obrázku 3.1 lze vidět návrh zapojení. RFM95 je nutné propojit pin IO1 a pin 6 z důvodu připojení LoRa modulu k zařízení. Napájení GPS senzoru je připojeno na 3 V výstup. Zem senzoru je připojená k pinu GND. Pin RX (Receiver) je připojen na pin TX (Transmitter) na desce a pin TX je připojen na pin RX. Anténa pro technologii LoRaWAN je připojena na pin Ant (Anténa). Baterie je připojena k pinu GND (Ground) a pinu BAT (Baterie).



Obrázek 3.1: Schéma zapojení



Obrázek 3.2: Propojení pinu IO1 s pinem 6

3.1.1 Připojení baterie

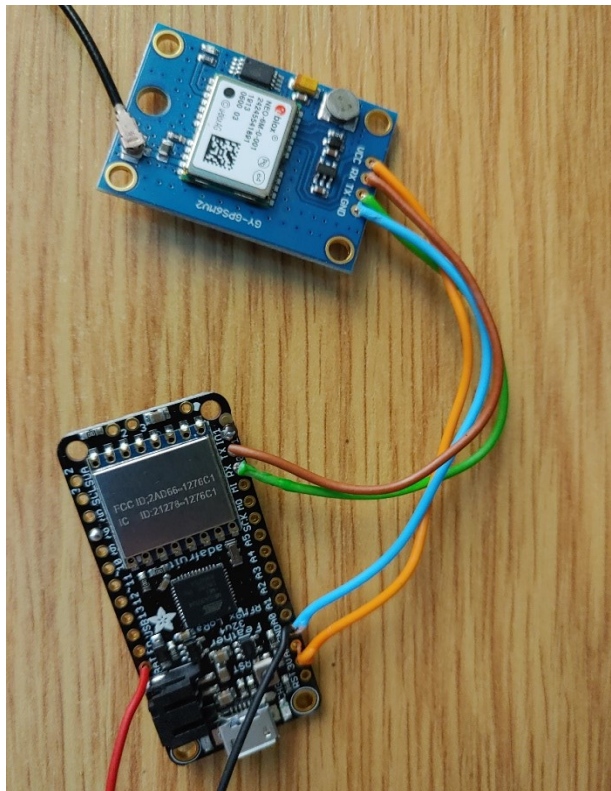
Komponent, který jsem se rozhodl připojit jako první je konektor k baterii. Přes tento konektor mohu později připojit baterii a pak pokud bude potřeba ji mohu také lehce vyměnit. Zvolil jsem lithium polymerovou baterii s napětím 3,7 V a kapacitou 1200 mAh. Vzhledem k požadavku na uzavření celého zařízení do malé přenositelné krabičky se takováto baterie skvěle hodí, jelikož nemá velké rozměry. Při této kapacitě a neustálém zasílání dat bude toto zařízení fungovat 15 hodin. Jestli zařízení bude často používat i tzv. spánkový režim, výdrž se může dosáhnout i na několik dní. V případě potřeby dobití baterie lze jednoduše dobít skrze microUSB konektor zabudovaný na desce AdaFruit, který lze připojit k PC nebo k jakékoliv běžné powerbance. Výsledek lze vidět na obrázku 3.3



Obrázek 3.3: Konektor k baterii

3.1.2 Připojení GPS modulu

Druhý komponent, který je potřeba připojit je GPS modulu. Tento komponent nám bude dodávat GPS souřadnice, které budeme dále zpracovávat. Jak již zaznělo na začátku této kapitoly, zvolil jsem GPS NEO-6M. Tento komponent je vhodný pro vložení do krabičky, jelikož nemá velké rozměry a zároveň není nákladný. K tomuto komponentu je od výroby přibalená i anténa. Tato anténa, ale nevyhovuje naším požadavkům, a proto ji později nahradíme vhodnější anténou. Výsledek lze vidět na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4: GPS NEO-6M

3.1.3 Zdrojový kód

Aby bylo možné používat data GPS Trackeru je potřeba napsat kód, pomocí kterého bude naše zařízení fungovat. V kódu bude naprogramována i komunikace s LoRaWAN sítí, díky které budeme data přenášet a používat. V této části ukážu části kódu, které popíšu. Kód použitý při konfiguraci zařízení je přiložen v příloze.

```
1|//include knihoven
2|#include <lmic.h>
3|#include <hal/hal.h>
4|#include <SPI.h>
5|#include <TinyGPS++.h>
```

První a nejdůležitější věcí je přilinkování knihoven. V mém případě použiji 4 knihovny. První knihovna je Lmic. Tato knihovna nám implementuje možnost, komunikovat v síti LoRaWAN přes náš RFM95 modul. Knihovna Hal nám usnadňuje a zaobaluje rozhraní Arduino API, aby bylo pro nás jednodušší pracovat s rozhraním. SPI knihovna nám zajišťuje komunikaci přes sériové periferní

rozhraní. Aby nám fungovala správně GPS komponent je potřeba pro něj na deklarovat knihovnu TinyGPS. Pomocí této knihovny jsme schopni získávat data z našeho GPS modulu.

```
10|//ABP Klíče mého zařízení
11|static const PROGMEM u1_t NWSKEY[16] = {};
12|static const u1_t PROGMEM APPSKEY[16] = {};
13|static const u4_t DEVADDR = 0x;
```

Výše lze vidět deklarace tří konstant. Jsou to Network Session Key, App Session Key a Device Adress. Pomocí těchto konstant se naše zařízení připojí k síti LoRaWAN, pomocí přístupu ABP (Activation By Personalisation) Tyto konstanty se vytvářejí při registraci zařízení. Po registraci dopíšeme tyto hodnoty do zdrojového kódu. Postup registrace zařízení na stránce TTN[15] je popsán v kapitole 3.2.

```
179|//Vytváříme spojení pomocí staticky nastavených hodnot
180|uint8_t appskey[sizeof(APPSKEY)];
181| uint8_t nwkskey[sizeof(NWKSKEY)];
182| memcpy_P(appskey, APPSKEY, sizeof(APPSKEY));
183| memcpy_P(nwkskey, NWKSKEY, sizeof(NWKSKEY));
184| LMIC_setSession (0x1, DEVADDR, nwkskey, appskey);
```

V tomto kódu se nastavují statické parametry pro komunikaci se sítí LoRaWAN. K navázání komunikace se použijí proměnné *appskey* a *nwkskey*.

```
44|//Funkce sloužící pro získání souřadnic
45|void get_coords (){
46|    bool newData = false;
47|    unsigned long = age;
48|//Cyklus for s podmínkou. Po odečtení proměnné start od funkce millis() musí být výsledek menší než 1000 milisekund
49|for (unsigned long start = millis();
    millis() - start < 1000;){
50|    while (Serial1.available()) { //Cyklus while. Pokud je sériová linka dostupná proběhne následující
51|        char c = Serial1.read();
52|        Serial.write(c); //Raw data GPS
53|        if (gps.encode(c)) { //Pokud byly nové data plně dekodovány může cyklus proběhnout
54|            newData = true;
55|        }
56|    }
57|}
58|//Cyklus for určen pro vymazání txBufferu
59|for (int i=0;i<9;i++)
60|    txBuffer[i]=0;
```

```

62|//Pokud newData budou true a věk gps souřadnic nebude větší než 1000 milisekund zavolá se
funkce build_packet()
63|if (newData && (gps.location.age() < 1000) {
64|    build.packet();
65|}
66|else Seriál.print("není GPS!!!"); //Pokud se tak nestane seriová linka vypíše hlášku, že není GPS!!!
67|}

```

Pomocí funkce *get_coords* získáváme souřadnice z našeho GPS komponentu. Aby byly souřadnice použity, je potřeba, aby splňovaly určité podmínky. První podmínkou je, aby hodnota *start* nebyla větší než 1000. Pokud se tak nestane cyklus neproběhne a my nezískáme souřadnice. Když je podmínka splněna je potřeba splnit i další podmínky. Pokud jsme načetli hodnoty ze sériové linky a dostali jsme hodnoty z GPS pomocí metody *encode* můžeme proměnou *newData* nastavit na *true*. Aby bylo možné použít funkci pro vytvoření paketu se souřadnicemi je potřeba splnit poslední podmínku. Musí být *newData* na hodnotě *true* a data nesmí být starší než 1000 milisekund.

```

136|//Sestavení paketu s hodnotami GPS.
137|//Z důvodu převodu dat z desetinného čísla na celé číslo je potřeba tyto hodnoty vynásobit, aby
bylo možné je později použít.
138|void build_packet() {
139|uint32_t latitude = (gps.location.lat()) * 10000; //zeměpisná šířka
140|uint32_t longitude = (gps.location.lng()) * 10000; //zeměpisná výška
141|uint16_t altitude = (gps.altitude.meters()) * 10; //nadmořská výška
142|uint8_t hdop = (gps.hdop.value()) * 10; //parametr horizontální přesnosti

144|txBuffer[0] = latitude >> 16; //Prvních 16 bitů vkládá do jednoho Bytu
145|txBuffer[1] = latitude >> 8; //Dalších 8 bitů vkládá do druhého Bytu
146|txBuffer[2] = latitude; //Poslední data vkládá do třetího Bytu

148|txBuffer[3] = longitude >> 16; //Prvních 16 bitů vkládá do čtvrtého Bytu
149|txBuffer[4] = longitude >> 8; //Dalších 8 bitů vkládá do pátého Bytu
150|txBuffer[5] = longitude; //Poslední data vkládá do šestého Bytu

152|txBuffer[6] = altitude >> 8; //8 bitů vkládá do sedmého Bytu
153|txBuffer[7] = altitude; //zbytek dat vkládá do osmého Bytu

155|txBuffer[8] = hdop; //Data vkládá do devátého Bytu
156|}

```

Dříve jsem zmínil funkci *build packet*. Pokud chceme odesílat naše souřadnice pomocí sítě LoRaWAN musíme je uložit do tzv. packetu, který následně odešleme. V této funkci si na deklaruujeme hodnoty zeměpisnou šířku (*latitude*), zeměpisnou délku (*longitude*), nadmořskou výšku (*altitude*) a horizontální přesnost (*hdop*). Tyto hodnoty kvůli převodu na jiný datový typ, který nepřenáší desetinná místa vynásobíme a postupně vložíme do předem vytvořeného pole *txBuffer*. Toto pole se následně odešle.

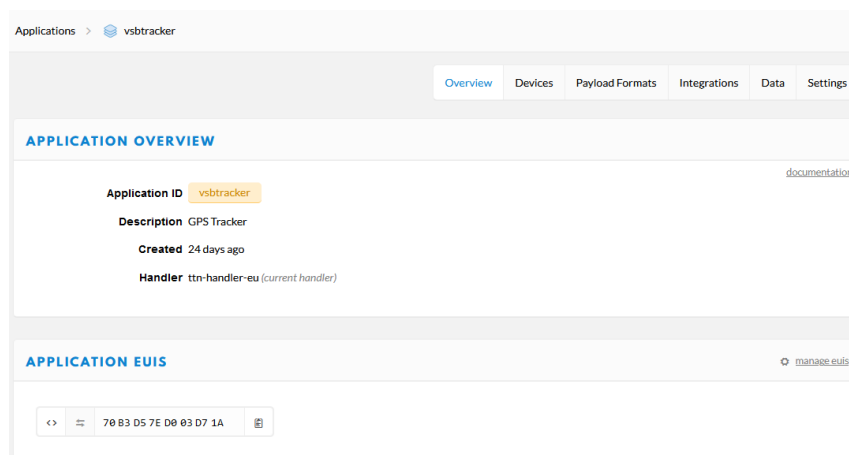
3.2 Registrace a nastavení TTN

Každý GPS Tracker někde zaznamenává své údaje, které zobrazí buď jako souřadnice nebo je zobrazují jako body na mapě. V našem případě budeme data odesílat z našeho zařízení do aplikace TTN Mapper[16]. Pomocí této aplikace budeme schopni zobrazit naši polohu a také sledovat náš pohyb. Pokud bude potřeba, budeme si moci pomoci této aplikace zobrazit náš pohyb i zpětně. V této části popíšu způsob zobrazování výsledných dat a způsob, jak jsme toho docílili.

3.2.1 The Things Network Console

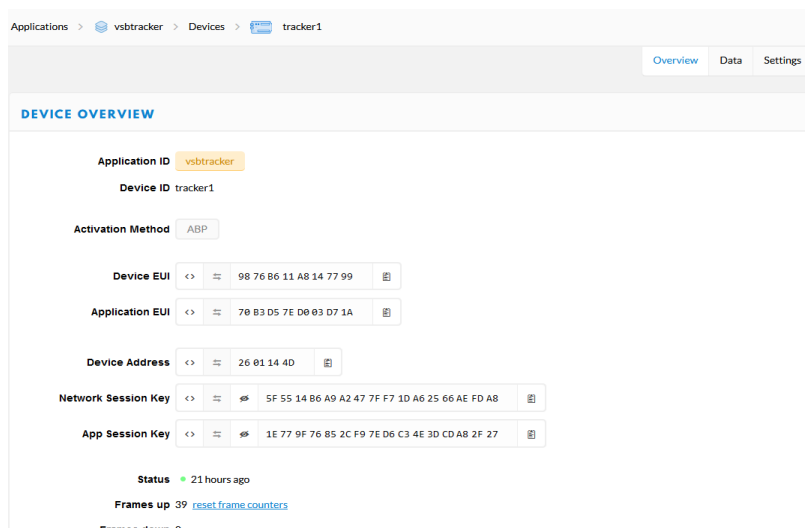
Pro získání GPS souřadnic z našeho zařízení je nejprve potřeba zařízení zaregistrovat do sítě LoRaWAN. K tomuto účelu použijeme stránku TTN console (The Things Network Console). Na této webové stránce si můžeme zaregistrovat aplikace, zařízení a brány. Po registraci je možné tyto zařízení spravovat. Zde naše zařízení zaregistrujeme a nastavíme údaje, které jsou potřebné pro komunikaci. Tyto údaje jsem již zmínil v předchozí kapitole, kde jsem tyto údaje vložil do mého kódu.

Než zaregistrujeme naše zařízení, je potřeba zaregistrovat Aplikaci (Application), kterou jsem pojmenoval *vsbtracker*.



Obrázek 3.5: Nastavení aplikace[15]

V této Aplikaci je potom možné zaregistrovat naše zařízení. V záložce Devices (Zařízení) zvolím možnost registrace nového zařízení, které jsem pojmenoval *vsbtracker01*. Postupně nastavím všechny potřebné údaje, aby byla možná komunikace mého zařízení. Pro nás je kromě názvu velice důležité položky Activation Method, Network Session Key, App Session Key a Device Address. Položka Activation Method nám určí, jakou metodu přístupu použijeme. Můžeme zvolit mezi OTAA (Over The Air Activation) a ABP. V mém případě jsem zvolil metodu ABP. I když je to méně bezpečná metoda pro mé zařízení je výhodnější, protože přeskočím přihlašovací proceduru. Další položky jsou potřebné pro navázání spojení tyto položky je potřeba zapsat do našeho kódu, který je nahraný v našem zařízení. Dále lze na obrázku 3.6 další položky jako je například Device EUI atd. Také zde můžeme vidět, kdy naposledy bylo naše zařízení připojené v síti LoRaWAN a kolik dat bylo přijato.[15]



Obrázek 3.6: Nastavení GPS Trackeru[15]

Po registraci zařízení je potřeba nastavit také dekodér, který nám bude dekódovat data zpět na naše hodnoty *lat*, *lon* a *alt*. Náš dekodér přijme paket, ve kterém je *txBuffer*. V tom to bafru jsou uložené hodnoty z GPS. Jak bylo vidět v kapitole 3.1.3 ve funkci *build_paket* se používá bitový posun pro uložení dat v poli *txBuffer*. Dekodér plní přesně opačnou funkci. Zpětným posunem bytů nám dekodér rozkóduje payload a my pak můžeme tyto data dále použít.

```
function Decoder(bytes, port) {

    var decoded = {};

    decoded.lat = (bytes[0]<<16) + (bytes[1]<<8) + bytes[2];
    decoded.lat = decoded.lat / 10000.0 ;

    decoded.lon = (bytes[3]<<16) + (bytes[4]<<8) + bytes[5];
    decoded.lon = decoded.lon / 10000.0;

    decoded.alt = (bytes[6]<<8) + bytes[7];
    decoded.alt = decoded.alt / 10.0;
    return decoded;
}
```

3.2.2 TTN Mapper

Pomocí webové stránky ttnmapper.org[16] si můžeme zobrazit na mapě naše souřadnice a jejich podrobnosti. Před použitím této stránky, je potřeba integrovat tuto stránku do naší aplikace *vsbtracker*. V záložce *Integrations* (Integrace) zvolíme *add integrations* (přidat integraci) a najdeme aplikaci TTN Mapper. Zde vyplníme všechny potřebné informace. Výsledek lze vidět na obrázku 3.7.

Applications > vsbtracker > Integrations > 11

INTEGRATION OVERVIEW

Process ID 11

Status Running

Platform TTN Mapper (v2.7.1) [documentation](#)

Author JP Meijers

Description Map your devices and coverage with TTN Mapper.

SETTINGS

E-mail address
The e-mail address to be used for queries about the quality of data

m.berger.1998@gmail.com

Port filter
Optional: only send messages sent on this LoRaWAN FPort to TTN Mapper

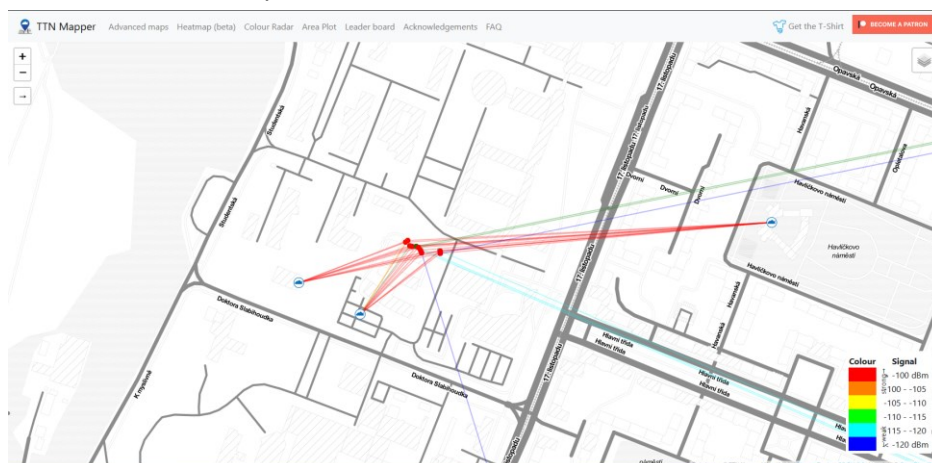
26 01 14 4D

Experiment name
Optional: the name of the experiment

Tracker

Obrázek 3.7: Integrace aplikace TTN Mapper[15]

Po úspěšné Integraci TTN Mapperu už můžeme použít webovou stránku ttnmapper.org[16]. Pokud chceme vidět, kde se naše zařízení nachází, je potřeba v záložce *Advanced maps* zadat ID našeho zařízení a datum, ze kterého dne chceme vidět pohyb zařízení. Když budeme chtít vidět okamžitý pohyb zvolíme dnešní datum. Ovšem pozor ID našeho zařízení není jedinečné, takže je možné, že se nám zobrazí i data z jiného zařízení, které není naše. Po zvolení data a názvu zařízení klikneme na tlačítko *View map* a po chvíli se nám na mapě zobrazí data zařízení s tímto názvem. Výsledek zobrazení webové stránky ze dne 23.2.2021 lze vidět na obrázku 3.8. [16]



Obrázek 3.8: Zobrazení polohy v TTN Mapperu[16]

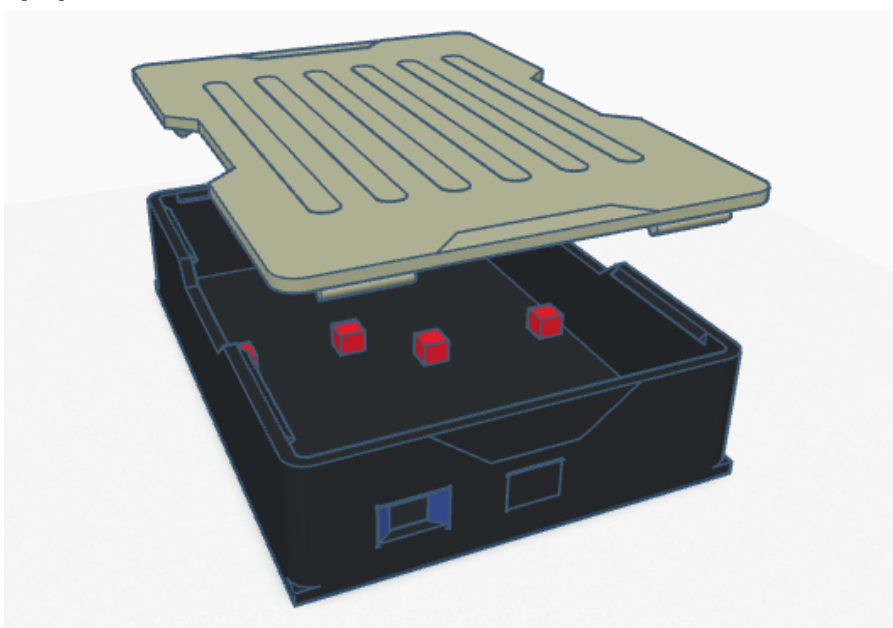
Pokud by se stalo, že na našem zařízení nebude fungovat GPS můžeme jí nahradit aplikací TTN Mapper, kterou si nainstalujeme na mobilní telefon. V aplikaci si při linkujeme naše zařízení a pokud budeme chtít, tak se mobilní telefon bude zobrazovat jako naše zařízení, ale tuto volbu jsem nepoužil.

3.3 3D tisk krabičky

Jak již bylo v předchozích kapitolách zmíněno pro naše zařízení je potřeba vytvořit krabičku. Způsob, který jsem zvolil byl nechat krabičku vytisknout na 3D tiskárně. V této kapitole si tedy rozebereme návrh krabičky a pak následný tisk a potřebné úpravy pro její použití.

3.3.1 Návrh 3D krabičky

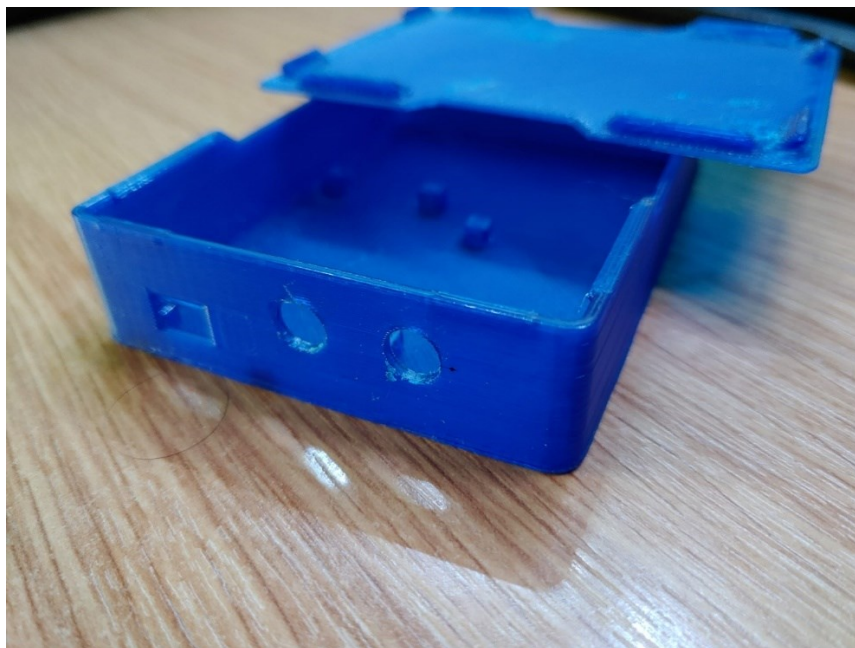
Pro návrh je potřebné použít i vhodný program. Pro naše účely nám dostačuje webová aplikace tinkercad[17]. Tato aplikace nám bohatě dostačuje se svými schopnostmi. Před samotným návrhem jsem si všechny komponenty pro jistotu sám přeměřil a vše pečlivě několikrát rozkreslil na papír, abych měl dostatečnou představu o velikosti krabičky. Výsledná krabička by měla nabývat délky 89 mm šířky 66 mm a výšky okolo 20 mm. Krabička bude mít odnímatelné víko, malé podstavce pro naše komponenty a díru pro použití micro USB kabelu. Výsledný návrh v aplikaci tinkercad lze vidět na obrázku 3.9. [17]



Obrázek 3.9: Návrh 3D krabičky[17]

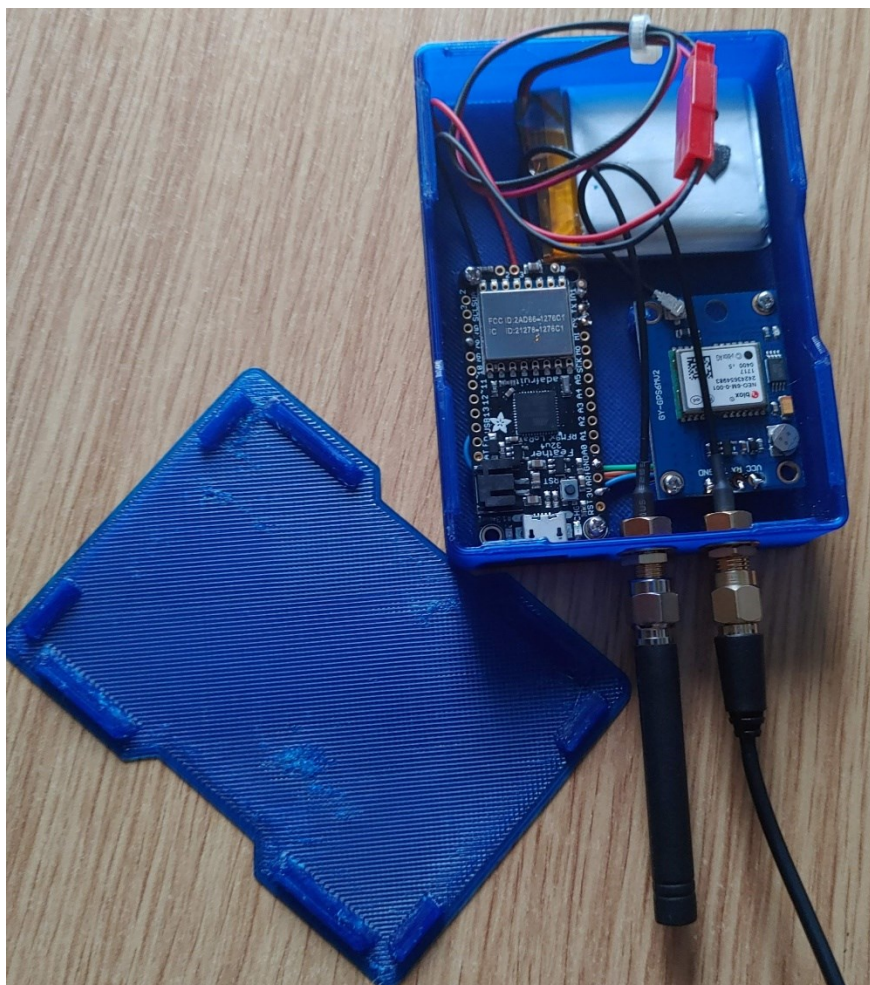
3.3.2 Úprava krabičky

Po době potřebné pro tisk jsem krabičku lehce upravil a očistil. Hlavní úprava je vyvrtání malých děr určených pro připojení antén k zařízení. Po těchto malých úpravách krabička nabývá velice kompaktních rozměrů a poslouží velice dobře při uschování našich komponent. Na obrázku 3.10 lze vidět krabička po úpravách.



Obrázek 3.10: *Upravená krabička*

Jakmile byla krabička připravená začal jsem s přidělováním komponent na předem připravené malé podstavce, na které umístím AdaFruit Feather 32u4 a GPS NEO-6M pomocí malých šroubků. Baterii určenou k napájení připevním k spodní části krabičky pomocí oboustrannné lepicí pásky.



Obrázek 3.11: *Komponenty v krabičce*

4 Používání zařízení

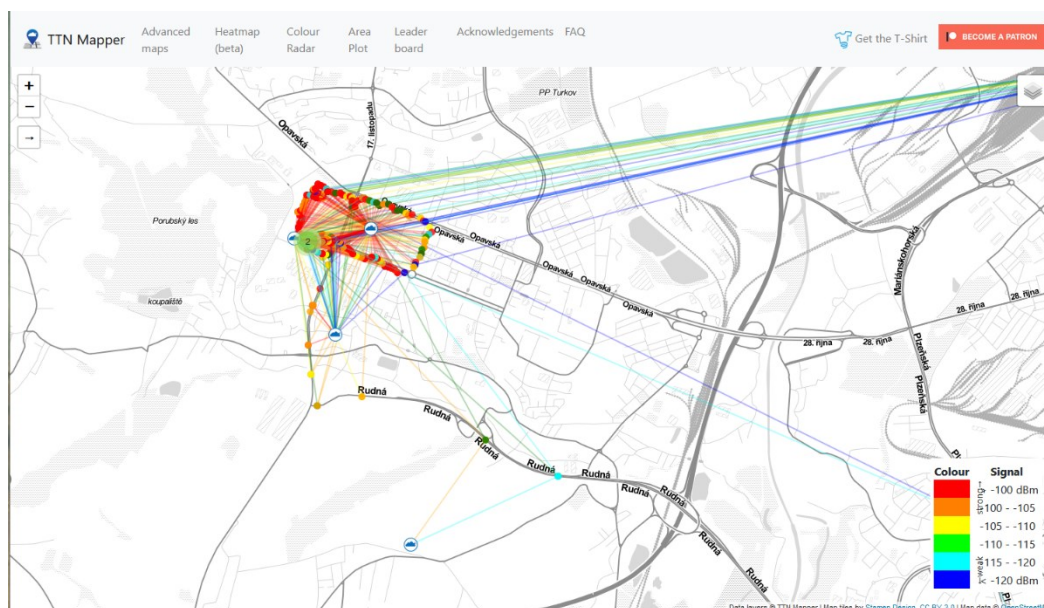
Když je zařízení zkompleťované je potřeba zkontrolovat jeho funkčnost. V této části bakalářské práce se zaměříme na otestování funkčnosti zařízení. Dále také popíšu výsledek tohoto testování a poukážu na problémy spojené s testováním. V poslední části ukážu výsledek testování v aplikaci TTN Mapper.

4.1 Testování

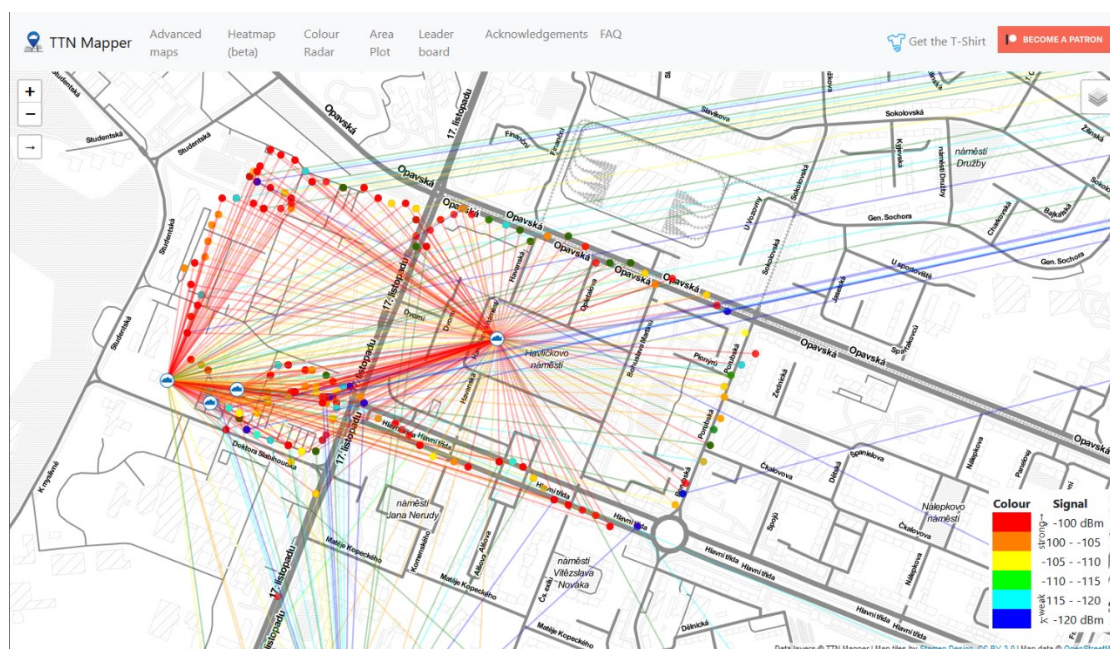
Pro otestování jsem si zvolil lokalizaci Ostrava Poruba. Vybral jsem si trasu přibližně s délkou 5 kilometrů. Před začátkem testování jsem zkontroloval, jestli v krabici nedošlo k poškození a připojil anténu k GPS a síti LoRaWAN. Posledním krokem bylo zapojení baterie a vložení krabíčky do batohu, ze kterého jsem pouze vytáhnul anténu GPS pro lepší zjištění polohy. Po prvních krocích jsem pomocí svého telefonu kontroloval chod dat na stránkách The Things Network a TTN Mapper. Tuto kontrolu jsem opakoval přibližně každých 10 minut. Data se vždy odesílala a já mohl projít svou trasu bez jakýchkoliv problémů.

4.2 Výsledek testování

Nejdůležitější částí testování je konečný výsledek. Výsledek testování GPS Trackeru lze ukázat jednoduše pomocí mapy a zakreslených souřadnic. Pro tyto účely jsme si již v kapitole 3.2.2 integrovali aplikaci TTN Mapper, která nám s tímto vyhodnocením pomůže. Každý odeslaný údaj do TTN sítě je opětovně odeslat také do aplikace TTN Mapper. V této aplikaci se ihned vykreslily body se souřadnicemi, které získal GPS Tracker. Jelikož jsem z důvodu počasí byl nucen jít pěšky a doba mezi odesláním souřadnic je 20 vteřin, tak jsou body na mapě blízko sebe. Tento problém však lze vyřešit přiblížením pohledu mapy. Výsledek měření lze vidět na obrázku 4.1. Bližší pohled lze vidět na obrázku 4.2



Obrázek 4.1: Výsledné měření[16]



Obrázek 4.2: Bližší pohled výsledného měření[16]

Když si mapu přiblížíme můžeme vidět dosti podrobně můj pohyb a při kliknutí na určitou souřadnici se nám zobrazí podrobné informace. Pokud je v malé oblasti mnoho bodů u sebe dá se z těchto bodů vyčíst, kde jsem se zastavil, abych například zkontroloval odesílání dat. Při bližším pohledu lze také vidět malou nepřesnost GPS Trackeru. V určitých případech pozice, kterou Tracker zaznamenal byla posunutá někdy až o pár desítek metrů, což lze přisoudit nepřesnosti technologie GPS. Pro potřeby této bakalářské práce však jsou podle mého výsledky dostačující. Po ukončení testování jsem použil GPS i při mém odjezdu a na výsledné mapce lze vidět, že i při rychlosti 90 km/h GPS je stále schopná odesílat data, pokud je v dosahu síť LoRaWAN.

4.3 Shrnutí dosažených výsledků

V mé bakalářské práci jsem provedl sestavení funkčního kódu pro zařízení. Dále jsem navrhl sestavení výsledného zařízení. Také jsem navrhl 3D model krabičky, do které budou jednotlivé komponenty zařízení umístěny, a ten následně nechal vytisknout na 3D tiskárně. Výsledné zařízení jsem poté zkompletoval a úspěšně otestoval jeho funkčnost.

Závěr

První kapitole práce je věnována řešerši komerčních zařízení a popisu jejich vlastností. Kapitola slouží, jako ukázka, v jakém balení se dá takové zařízení koupit a co vše dokáže nabídnout krom GPS lokátoru. Také je zde ukázáno několik zajímavých druhů tohoto stylu zařízení a jsou také podrobně popsány.

Další kapitola je určena pro popis návrhu zařízení komponent a použitých technologií. Je zde vysvětleno, jak každá technologie funguje její výhody i nevýhody a způsob použití. Poté jsou zde ukázány použité komponenty a vysvětleno proč a jak se použijí. V neposlední řadě je zde naznačeno, jak zařízení bude vypadat a také jak bude fungovat.

Třetí kapitola je určena pro samotné sestavení zařízení. V kapitole je nejprve popsáno, kde se jednotlivé komponenty připojí a poté i následná ukázka, jak tyto komponenty vypadají po propojení. Dále jsou v kapitole popsány části zdrojového kódu použité v zařízení. Poté je zde uveden způsob vizualizace dat odeslané ze zařízení a postup potřebné registrace použitých služeb. V kapitole je také uveden návrh krabičky použité pro zařízení a její následné úpravy a výsledné uložení komponentů v krabičce. Použitý kód a návrh krabičky je k nahlédnutí v příloze.

V poslední kapitole bakalářské práce je výsledné zařízení otestováno v městském prostředí. Způsob testování je popsán, ohodnocen a jsou zde zobrazeny výsledky tohoto testování.

Na tuto bakalářskou práci by šlo z mého pohledu navázat, využitím tohoto GPS Trackeru v konkrétním odvětví, kterým je například doprava. Taktéž by jistě šlo toto zařízení vylepšit a zdokonalit, tak aby bylo schopno konkurovat jiným komerčním zařízením. Avšak toto využití z mého pohledu není moc široké, jelikož LoRaWAN nenabízí takové pokrytí, jako ostatní technologie. Například v oblastech mimo velká města není žádné pokrytí touto technologií.

Použitá literatura

- [1] LT-100E LoRaWAN GPS Tracker. *Alternetivo* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: https://www.alternetivo.cz/lt-100e-lorawan-gps-tracker_d60165.html
- [2] LW-360HR. *GlobalSat* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.globalsat.com.tw/en/product-273087/LoRa-GPS-Tracker-Watch-with-Heart-Rate-Monitor-for-Lone-Worker-LW-360HR.html>
- [3] LR N'TRACK. *LoRa Alliance* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://loralliance.org/loraproducts/lr-ntrack/>
- [4] LR N'TRACK. *Alternetivo* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: https://www.alternetivo.cz/micro-tracker-gps-tracker-pro-lora-iot-site_d57543.html
- [5] WisNode Track Lite RAK7200. *Rak* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://store.rakwireless.com/products/rak7200-lpwan-tracker?variant=29669491802157>
- [6] RAK811 LoRa. *PI Supply* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://uk.pi-supply.com/products/rak811-lora-lorawan-tracker-board-wireless-remote-positioning-solution-max-7q-gps-module-mems-sensor>
- [7] LoRaWAN. *IoT Portal* [online]. 2016, 29.2.2016 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/29/lorawan/>
- [8] LoRaWAN. *LoRa VSB* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://lora.vsb.cz/index.php/about-lora/>
- [9] What is LoRaWAN Specification. *LoRa Alliance* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://loralliance.org/about-lorawan/>
- [10] GPS. *Wikipedia* [online]. 2021, 10. 2. 2021 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [11] DLOUHÝ, Martin. GPS. *Robotika* [online]. 2006, 27.6.2006 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://robotika.cz/guide/gps/cs>
- [12] Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio (868 nebo 915 MHz). *RPishop* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/adafruit/1254-adafruit-feather-32u4-rfm95-lora-radio-868-nabo-915-mhz.html>
- [13] GPS modul NEO-6M. *GM Electronics* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/gps-modul-neo-6m>
- [14] Akumulátor Li-pol 1200mah. *Battery, Baterie, Záložní zdroje, UPS* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: http://battery.nabizi.cz/akumulator-li-pol-1200mah-25c-3-7v-993052-nabijeci-baterie-s-ochranou_p83335/
- [15] Console community edition. *The Things Network Console* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://console.thethingsnetwork.org/>
- [16] TTN Mapper. *TTN Mapper* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://ttnmapper.org/>
- [17] Tinkercad. *Autodesk Tinkercad* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.tinkercad.com/>

- [18] LORAWAN GPS Tracker. *IOT Factory* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <http://iotfactory.eu/products/iot-sensors/lorawan-gps-tracker/>
- [19] Oyster LoRaWAN. *Digital Matter* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.digitalmatter.com/devices/oyster-lorawan/>
- [20] Yabby LoRaWAN. *Digital Matter* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.digitalmatter.com/devices/yabby-lorawan/>
- [21] Dnx GPS Tracker QliqLoRa Kr917. *Thing Park Market* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://market.thingpark.com/lora-safety-and-tracking-watch.html>
- [22] 915MHZ LORA GPS lightweight tracker assets long battery life, Panic button. *Ebay* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/915MHZ-LORA-GPS-lightweight-tracker-assets-long-battery-life-Panic-button/264282935564?hash=item3d887d910c:g:XfIAOSwwWNcl21l>
- [23] LT-601R Series. *Global Sat* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.globalsat.com.tw/en/product-258301/Flexible-Tracker-for-LoRa%C2%AE-Technology-LT-601R-Series.html>
- [24] Rak 4200. *Rak* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://store.rakwireless.com/products/rak4200-lora-module?variant=36313266356382>

Seznam příloh

Příloha A: Zdrojový kód GPS Trackeru s popisem

Příloha B: Návrh krabičky pro GPS Tracker

Adresářová struktura ZIP souboru přílohy:

```
2021_BER0228_BP_příloha.zip:
|
+---Příloha A
|       GPS_Tracker.ino
|
+---Příloha B
|       Krabicka GPS Tracker v.1.stl
```